

三种车型动车组车厢空气质量调查

马硕, 李绪泉, 刘国丹, 王海英, 王刚, 彭嵩

摘要: [目的] 了解三种车型动车组列车车厢内的空气质量。[方法] 监测 CRH5、CRH380A 以及 CRH380BL 三种动车组旅客列车车厢内空气中温度、相对湿度、风速等微小气候指标及一氧化碳、二氧化碳、颗粒物、空气细菌总数、甲醛、挥发性有机物等污染指标, 并将测得的数据进行分析。[结果] 温度、相对湿度、风速总体合格率分别为 78.4%、94.0% 和 100.0%。车厢内以及空调送风颗粒物主要由 PM_{1.0} 组成, 室内与送风颗粒物浓度相关性较强。在所测试的动车组中, 发现一氧化碳、甲醛、挥发性有机物以及细菌总数均符合标准。只有二氧化碳出现超标的情况。[结论] 三种车型动车组车厢内空气质量总体较好, 二氧化碳合格率较低。

关键词: 动车组; 微小气候; 空气质量; 甲醛; 挥发性有机物

Investigation of Air Quality in Compartments of Three Electric Multiple Unit Models MA Shuo, LI Xu-quan, LIU Guo-dan, WANG Hai-ying, WANG Gang, PENG Song (School of Environmental and Municipal Engineering, Qingdao Technological University, Shandong 266033, China) • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To evaluate the air quality in the compartments of three models of electric multiple unit (EMU) trains. [Methods] CRH5, CRH380A, and CRH380BL EMU models were monitored and analyzed for micro-climate indices (including temperature, relative humidity, and wind speed) and pollutants (including carbon monoxide, carbon dioxide, particles, total bacteria, formaldehyde, and volatile organic compounds). [Results] The qualified rates of temperature, relative humidity, and wind speed were 78.4%, 94.0%, and 100% respectively. The particles in compartments and supply air of selected models were mostly composed of PM_{1.0}. The particle concentration in compartments was strongly associated with that in the supply air. The concentrations of carbon monoxide, formaldehyde, volatile organic compounds, and total bacteria count were well within the relevant national standards, except for carbon dioxide concentration. [Conclusion] The air qualities in the compartments of three selected EMU models are good in general. However, the qualified rates of carbon dioxide concentrations in the compartments are relatively low.

Key Words: electric multiple unit; micro-climate; air quality; formaldehyde; volatile organic compounds

随着动车组的快速发展, 铁路客车的运营量逐年增加, 动车组车厢内空气质量日益受到人们的关注。车厢内部的空气质量直接关系到旅客以及列车乘务人员的身心健康。李雅珍等^[1]于 2006 年对普通非空调列车超员状态下车厢空气质量的调查结果表明, 十一黄金周以及冬运超员车厢中二氧化碳浓度超标严重; 细菌总数暑运期间超标率最高。刘燕等^[2]于 2009 年对空调列车不同载员情况下车厢空气质量的调查运用了空气质量指数法进行评价, 发现超员状况下空气质量为轻污染。文献^[3-4]均报道 25 型旅客列车空气质量的调查结果, 发现二氧化碳浓度合格率较低, 是主要的污染物。储钢^[5]于 2008 年对某线路刚运营 5 d 的动车组列车进行了空气质量的调查; 李谊等^[6]对动车组运行车内环境进行了调查; 调查结果发现目前动车组车厢内空气质量较好。本研究拟在此基础上增加动

车组 CRH380A 以及 CRH380BL 车型, 对已经运营时间较长的车厢空气质量进行调查, 以了解三种车型动车组列车车厢内的空气质量。

1 对象与方法

1.1 调查对象

2013 年 7—8 月, 对以青岛为始发站或终到站的 CRH5、CRH380A 以及 CRH380BL 三种动车组车型的部分车次二等座车厢进行调查。CRH5 为北车长春客车厂生产, CRH380A 为南车四方厂生产, CRH380BL 为北车长春客车厂与唐山客车厂联合生产。三种车型内部空调系统形式不同, 其主要送风形式如下: CRH5 为行李架下部条缝送风; CRH380A 为窗下侧送风以及顶板贴附射流送风; CRH380BL 为顶板送风。CRH5 车型测试车次运行路线为青岛—济南, 中途停靠车站次数为 3~4 次, 运行时间为 2.5 h 左右; CRH380A 及 CRH380BL 车型测试车次运行路线为青岛—北京, 中途停靠车站次数为 5~6 次, 运行时间为 4.5 h 左右。监测时车厢大部分时间处于无超员状态, 超员时也仅仅超员 5 人左右。

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2014.0049

[作者简介] 马硕(1989—), 男, 硕士生; 研究方向: 列车客室空气品质;

E-mail: limit24@sina.com

[作者单位] 青岛理工大学环境与市政工程学院, 山东 266033

1.2 监测项目及方法

1.2.1 监测指标及仪器 (1)微小气候指标。温度、相对湿度、风速,均使用多参数通风测试仪/TSI8386A(美国 TSI 公司)测定。(2)空气污染指标。空气颗粒物(计数浓度)、二氧化碳、一氧化碳、甲醛、挥发性有机物、细菌总数。空气颗粒物的测定使用便携式激光粒子计数器/TSI AeroTrak 9303(美国 TSI 公司);二氧化碳的测定使用二氧化碳检测仪/Telaire 7001(美国 TEL 公司);一氧化碳的测定使用一氧化碳气体检测仪/T40(美国英思科公司);甲醛的测定使用甲醛检测分析仪/PPM400 型(英国 PPM 公司);挥发性有机物的测定使用挥发性有机气体检测仪/PhoCheck 5000Ex(英国离子科学公司);细菌总数的测定使用高性能空气微生物采样器/SAS SUPER ISO(意大利 PBI 公司)、高压蒸气灭菌器/SANYO MLS-3750(日本三洋公司)、生化培养箱/SPX-150B-Z(中国上海博讯公司)。

1.2.2 监测方法 依据 TB/T 1932—2001《旅客列车卫生及监测技术规定》^[7]监测车厢内指标。依据 WS 394—2012《公共场所集中空调通风系统卫生规范》^[8]监测送风口颗粒物。

1.2.3 监测布点 本次监测均为二等座车厢,在车厢两端及中间处测试,每个监测点距地面 1.5 m,距车壁 1 m。

1.2.4 监测频率 根据列车行驶路线,测试相对稳态时客室内浓度,基本 30 min 测试 1 次。结果依据 GB 9673—1996《公共交通工具卫生标准》^[9]进行评价。甲醛、挥发性有机物参照 GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》^[10]。

1.3 统计学分析

将数据录入计算机,采用统计学软件 SPSS 19.0 计算均值及相关统计量,进行相关的统计分析。对室内颗粒物以及送风颗粒物浓度进行相关性分析,相关分析采用非参数的 Spearman 秩次相关分析,检验水准 $\alpha=0.01$ 。

2 结果

2.1 微小气候监测结果

不同车型动车组车厢内微小气候监测结果见表 1。不合格的样本中,温度均<标准值下限(24℃),相对湿度均>标准值上限(70%)。

表 1 不同车型动车组车厢内微小气候监测结果

车型	n	温度		相对湿度		风速	
		$\bar{x} \pm s$ (℃)	合格率 (%)	$\bar{x} \pm s$ (%)	合格率 (%)	$\bar{x} \pm s$ (m/s)	合格率 (%)
CRH5	23	24.5 ± 0.6	82.6	60.3 ± 4.6	100.0	0.14 ± 0.03	100.0
CRH380A	28	25.0 ± 0.6	85.7	66.6 ± 8.7	75.0	0.16 ± 0.06	100.0
CRH380BL	65	24.6 ± 0.8	73.8	64.5 ± 2.1	100.0	0.13 ± 0.04	100.0
合计	116	24.7 ± 0.7	78.4	64.2 ± 4.1	94.0	0.14 ± 0.04	100.0

2.2 车厢内颗粒物浓度

通过对粒子激光计数器所测各粒径段数据进行处理,得到三种车型的颗粒物各粒径段浓度,见表 2。从表中可以看出,三种动车组车型颗粒物在粒径段 0.3~0.5 μm、0.5~1.0 μm 的浓度范围分别为 $1 \times 10^5 \sim 3 \times 10^5$ 个/L 及 $1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ 个/L,这种粒径级别的颗粒物属于 PM_{1.0},对人体危害较大。

表 2 不同车型动车组车厢内不同粒径段空气颗粒物浓度监测结果
($\bar{x} \pm s$, 个/L)

车型	n	0.3~0.5 μm	0.5~1.0 μm	1.0~2.0 μm	2.0~5.0 μm	5.0~25 μm
CRH5	20	259 558 ± 77 843	38 657 ± 20 038	1 835 ± 1 074	195 ± 79	66 ± 31
CRH380A	16	174 656 ± 48 224	15 937 ± 7 608	870 ± 544	106 ± 73	31 ± 18
CRH380BL	31	272 089 ± 80 325	26 124 ± 18 778	859 ± 670	100 ± 41	43 ± 22

2.3 颗粒物粒径分布特征

由图 1 三种车型的客室内颗粒物粒径分布可看出,客室内颗粒物主要由 PM_{1.0} 组成。其中粒径 0.3~0.5 μm 大约占 90% 左右,0.5~1.0 μm 则占 10% 左右。根据各车型空调系统形式,只测试了 CRH5 和 CRH380A 的送风颗粒物浓度。其粒径分布见图 2。可以看出,送风颗粒物浓度分布规律和室内规律一致,主要由 PM_{1.0} 组成。

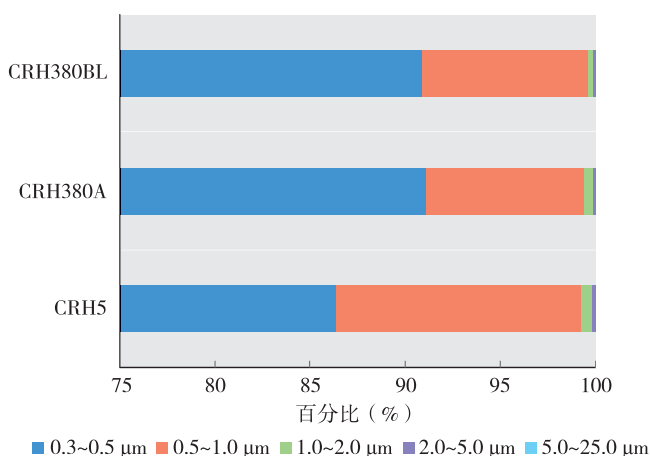


图 1 不同车型动车组客室内颗粒物浓度粒径分布

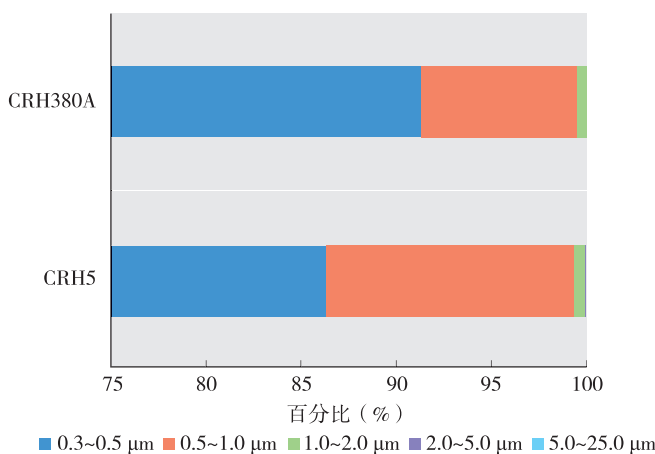


图 2 不同车型动车组送风颗粒物浓度粒径分布

2.4 室内、送风颗粒物相关性

相关分析结果显示,不同车型动车组室内、送风颗粒物各粒径段明显相关($P<0.01$)。粒径 $<1.0 \mu\text{m}$, 相关系数 >0.9 , 相关性很强;粒径 $>2.0 \mu\text{m}$ 的颗粒物,相关系数 >0.7 , 相关性较强,见表 3。

表 3 不同车型动车组不同粒径室内、送风颗粒物相关系数(r)

车型	0.3~0.5 μm	0.5~1.0 μm	1.0~2.0 μm	2.0~5.0 μm	5.0~25 μm
CRH5	0.982	0.971	0.970	0.731	0.806
CRH380A	0.965	0.929	0.568	0.712	0.744

2.5 其他指标的测试分析

测试车厢内甲醛浓度整理结果见表 4。对于挥发性有机物, 仪器测出单位为 ppb, 标准中为 $\leq 0.6\text{mg/m}^3$ 。参照香港空气质量标准中对挥发性有机物的规定, 即 0.6mg/m^3 对应 261 ppb。测试结果见表 5(国内未有挥发性有机物的 ppb 标准, 并且挥发性有机物中 mg/m^3 与 ppb 的换算关系不明确, 因此参考香港空气质量标准)。在所测试的动车组中, 发现一氧化碳、甲醛、挥发性有机物以及细菌总数均符合标准, 且未检出一氧化碳, 但是二氧化碳合格率较低。

表 4 不同车型动车组车厢内二氧化碳、一氧化碳、甲醛浓度监测结果

车型	n	二氧化碳		一氧化碳		甲醛	
		$\bar{x} \pm s$ (%)	合格率 (%)	$\bar{x}$	合格率 (%)	$\bar{x} \pm s$ (mg/m^3)	合格率 (%)
CRH5	33	0.16 ± 0.03	54.5	—	100	0.055 ± 0.014	100
CRH380A	29	0.15 ± 0.06	72.4	—	100	0.019 ± 0.011	100
CRH380BL	47	0.15 ± 0.008	72.3	—	100	0.052 ± 0.012	100

[注]—: 未检出。

表 5 不同车型动车组车厢内挥发性有机物、细菌总数监测结果

车型	n	挥发性有机物		n	细菌	
		$\bar{x} \pm s$ (ppb)	合格率 (%)		$\bar{x} \pm s$ (cfu/ m^3)	合格率 (%)
CRH5	33	124 ± 43	100.0	20	360 ± 252	100.0
CRH380A	29	93 ± 37	100.0	15	246 ± 201	100.0
CRH380BL	47	106 ± 33	100.0	15	278 ± 85	100.0

3 讨论

本次所测试动车组微小气候温度、相对湿度都出现了不合格的情况, 这与文献[5]中的调查结果相一致。并且此次调查还显示不合格的样本中温度都低于标准值, 相对湿度则高于标准值。

与文献[5-6]调查结果类似, 本研究结果显示, 所测动车组车次的一氧化碳、甲醛、挥发性有机物、细菌总数都在标准范围内。而且一氧化碳未检出, 说明动车组全面禁烟效果明显。挥发性有机物和甲醛浓度都较低, 说明动车组内饰物所使用的板材、装饰材料以及胶粘剂等甲醛含量较少。

车厢空气二氧化碳合格率较低, 平均值在 0.15%、0.16% 左右, 车厢内空气属于临界污染及轻污染状态。这还是在无超员情况或者仅仅超员 5 个人左右的情况下。而在同类研究中, 文献[5]二氧化碳浓度合格率为 41.3%, 文献[6]中既有线动车组二氧化碳浓度也出现了超标状况。这充分说明了对于动车组, 二氧化碳浓度超标是个普遍问题。造成二氧化碳浓度偏高的主要原因是动车组车厢密闭性好、换气量较小, 以至于人们呼出的二氧化碳排出较慢, 二氧化碳浓度偏高。因此, 应该加强车厢内的通风换气, 以保证车厢内的空气新鲜、清洁。可以考虑采用比例积分微分 (PID) 控制系统调节新风量, 严格保证

客室内二氧化碳浓度在 0.15% 以下。

通过颗粒物浓度结果以及粒径分布可以看出, 客室内颗粒物主要由 $\text{PM}_{1.0}$ 组成。这种级别的颗粒物对人体危害很大, 被吸入人体后会直接进入支气管, 干扰肺部的气体交换, 引发包括哮喘、支气管炎和心血管病等方面的疾病。所以应该加大对小粒径颗粒物的研究与控制。

本次调查时间为 7—8 月份, 天气晴朗, 微风, 不是客运高峰。若在高峰时期, 则与人数有直接关系的二氧化碳浓度合格率会更低; 由于颗粒物一部分来自于人体携带的灰尘, 则颗粒物浓度会升高; 因动车组禁烟, 一氧化碳应该是未检出状态; 甲醛与人数无直接关系, 估计变化不大; 人体会散发一些挥发性有机物, 则高峰期挥发性有机物浓度会略有升高; 细菌一部分也来源于人体携带, 则细菌总数会升高。

由于时间、精力等方面有限, 本次调查的动车运行路线较为单一; 并且调查时间为 7—8 月份, 不是客运高峰, 不能反映客运高峰期的空气质量状况。所以以后应该加大调查范围, 调查不同路线以及不同时间(比如十一黄金周、冬季、春运等)的动车车厢空气质量, 从而对动车车厢空气质量有较为全面的了解。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

[1] 李雅珍, 曹雪玲, 杨明进. 普通客车超员车厢内空气质量调查[J]. 环境与职业医学, 2009, 26(2): 213-215.
[2] 刘燕, 李雅珍. 空调列车不同载员情况下车厢内空气质量的调查[J]. 环境与职业医学, 2011, 28(4): 237-239.
[3] 丁宁, 黄利华, 万志成. 旅客列车车厢内空气质量调查研究[J]. 中国预防医学杂志, 2006, 7(2): 122-124.
[4] 吕慧, 沈倩敏, 张立, 等. 4 种车型列车车厢内冬季空气质量评价[J]. 环境与职业医学, 2008, 25(5): 482-484.
[5] 储钢. 某型动车组旅客列车车厢空气质量调查[J]. 环境与健康杂志, 2010, 27(6): 548.
[6] 李谊, 阮志刚, 邱永祥, 等. 动车组运行车内环境卫生综合评价[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 2010, 37(6): 279-282.
[7] 中华人民共和国铁道部. TB/T 1932—2001 旅客列车卫生及监测技术规定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
[8] 中华人民共和国卫生部. WS 394—2012 公共场所集中空调通风系统卫生规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
[9] 交通部卫生处, 民航局卫生处, 铁道部卫生保护司. GB 9673—1996 公共交通工具卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
[10] 国家质量监督检验检疫局, 国家环保总局, 中华人民共和国卫生部. GB/T 18883—2002 室内空气质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.

(收稿日期: 2013-10-09)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 王晓宇; 校对: 张晶)